

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-004009

(43)Date of publication of application : 06.01.1998

(51)Int.Cl.

H01F 6/00
H01F 7/20

(21)Application number : 08-154521

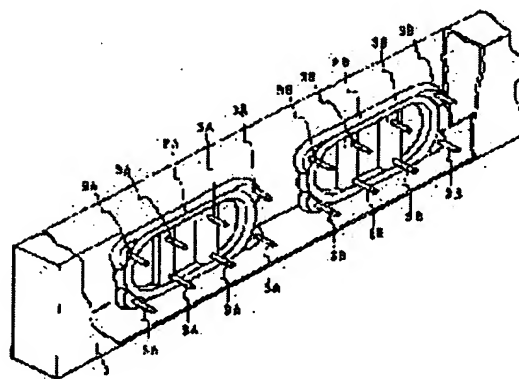
(71)Applicant : MITSUBISHI ELECTRIC CORP

(22)Date of filing : 14.06.1996

(72)Inventor : AKAGI HIDENARI
FUJIMOTO TAJI
GOMI TAKESHI
SAKATANI ITSUO
KANO SEIJI**(54) SUPERCONDUCTIVE MAGNET DEVICE****(57)Abstract:**

PROBLEM TO BE SOLVED: To restrain a superconductive magnet device from increasing in heat release value due to a dynamic external turbulence by a method wherein inner tanks filled with coolant are adiabatically supported in an outer tank, and one of the inner tanks is set different from the other inner tanks in resonant frequency.

SOLUTION: The load supports 3A and 3B of inner tanks 2A and 2B are set different from each other in rigidity or the inner tanks 2A and 2B are set different from each other in support rigidity and resonant frequency, whereby the inner tanks 2A and 2B are set at different frequencies on which they become maximum in heat release value respectively. Thereby total heat release value of the superconductive magnet device can be suppressed small as a whole, and the capacity of a cooling system required to cooling down coolant evaporated by heat release can be reduced.

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-4009

(43) 公開日 平成10年(1998) 1月6日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 F 6/00 7/20	Z A A		H 0 1 F 7/22 7/20	Z A A A E

審査請求 未請求 請求項の数17 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願平8-154521

(22) 出願日 平成8年(1996) 6月14日

(71) 出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72) 発明者 赤木 秀成

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三
菱電機株式会社内

(72) 発明者 藤本 泰可

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三
菱電機株式会社内

(72) 発明者 五味 武志

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三
菱電機株式会社内

(74) 代理人 弁理士 曾我 道照 (外6名)

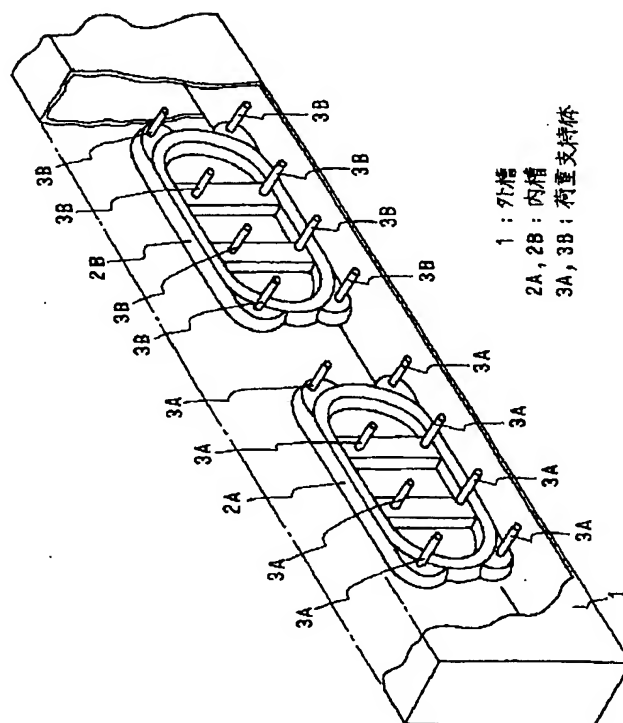
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超電導磁石装置

(57) 【要約】

【課題】 本発明は、超電導コイルを格納する内槽が複数設けられている場合に、動的な外乱による発熱量を抑え、必要な冷却システムの能力を小さくすることを目的とするものである。

【解決手段】 外槽1に対して内槽2A、2Bを断熱支持する荷重支持体3A、3Bの剛性を、内槽2A、2Bについてそれぞれ異なるものとし、内槽2A、2Bの共振周波数を異なるものとした。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 外槽と、それぞれ上記外槽内に収容されているとともに冷媒を収容している複数の内槽と、これらの内槽を上記外槽内にそれぞれ断熱支持している複数の荷重支持体と、上記内槽内にそれぞれ格納されている超電導コイルとを備え、少なくとも 1 個の内槽の共振周波数が他の内槽と異なっていることを特徴とする超電導磁石装置。

【請求項 2】 少なくとも 1 個の内槽を支持する荷重支持体の剛性が、他の内槽を支持する荷重支持体の剛性と異なっていることを特徴とする請求項 1 記載の超電導磁石装置。

【請求項 3】 少なくとも 1 個の内槽を支持する荷重支持体が、他の内槽を支持する荷重支持体の材料とは縦弾性係数の異なる材料で構成されていることを特徴とする請求項 2 記載の超電導磁石装置。

【請求項 4】 少なくとも 1 個の内槽を支持する荷重支持体が、他の内槽を支持する荷重支持体の繊維複合材料とは繊維構成の異なる繊維複合材料で構成されていることを特徴とする請求項 2 記載の超電導磁石装置。

【請求項 5】 少なくとも 1 個の内槽を支持する荷重支持体の外槽への取付部の剛性が、他の内槽を支持する荷重支持体の上記外槽への取付部の剛性と異なっていることを特徴とする請求項 1 記載の超電導磁石装置。

【請求項 6】 少なくとも 1 個の内槽を支持する荷重支持体の取付部における外槽の板厚が、他の内槽を支持する荷重支持体の取付部における外槽の板厚と異なっていることを特徴とする請求項 5 記載の超電導磁石装置。

【請求項 7】 各荷重支持体の外槽への取付部に上記荷重支持体と直列にダンパが設けられているとともに、少なくとも 1 個の内槽を支持する荷重支持体のダンパのばね定数が、他の内槽を支持する荷重支持体のダンパのばね定数と異なっていることを特徴とする請求項 5 記載の超電導磁石装置。

【請求項 8】 少なくとも 1 個の内槽を支持する荷重支持体の外槽への取付部の剛性が調整可能になっていることを特徴とする請求項 1 記載の超電導磁石装置。

【請求項 9】 外槽の荷重支持体の取付部に、剛性調整用スペーサが着脱可能に取り付けられおり、この剛性調整用スペーサを選択することにより、上記取付部の剛性が調整可能になっていることを特徴とする請求項 8 記載の超電導磁石装置。

【請求項 10】 少なくとも 1 個の内槽を支持する荷重支持体の配置位置が、他の内槽を支持する荷重支持体の配置位置と異なっていることを特徴とする請求項 1 記載の超電導磁石装置。

【請求項 11】 少なくとも 1 個の内槽の断面剛性が、他の内槽の断面剛性と異なっていることを特徴とする請求項 1 記載の超電導磁石装置。

【請求項 12】 少なくとも 1 個の内槽の板厚が、他の

内槽の板厚と異なっていることを特徴とする請求項 11 記載の超電導磁石装置。

【請求項 13】 内槽内には、超電導コイルを支持するリブがそれぞれ設けられており、少なくとも 1 個の内槽についてその形状及びリブの形状が、他の内槽と異なっていることを特徴とする請求項 11 又は請求項 12 に記載の超電導磁石装置。

【請求項 14】 少なくとも 1 個の内槽に格納された超電導コイルの断面剛性が、他の内槽に格納された超電導コイルの断面剛性と異なっていることを特徴とする請求項 1 記載の超電導磁石装置。

【請求項 15】 内槽及び超電導コイルを含み、外槽に対して荷重支持体により支持されている部分の合計質量が、少なくとも 1 個の内槽について他の内槽と異なっていることを特徴とする請求項 1 記載の超電導磁石装置。

【請求項 16】 内槽に取り付けられる付属部品の取付位置が、少なくとも 1 個の内槽について他の内槽と異なっていることを特徴とする請求項 1 記載の超電導磁石装置。

【請求項 17】 磁気浮上列車の台車枠に取り付けるための台車枠取付部が、荷重支持体の外槽への取付位置に対応して設けられているとともに、上記台車枠取付部の配置位置が、少なくとも 1 個の内槽について他の内槽と異なっていることを特徴とする請求項 1 記載の超電導磁石装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 この発明は、例えば磁気浮上列車などに設けられる超電導磁石装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 図 19 は例えば特開平 6-140239 号公報等に示された従来の磁気浮上列車用の超電導磁石装置を示す構成図、図 20 は図 19 の切欠斜視図である。図において、1 は内部に断熱用の真空空間を形成する外槽、2 は外槽 1 内に収容され、液体ヘリウム等の冷媒の容器となる内槽、3 は内槽 2 を外槽 1 内に断熱支持する荷重支持体、4 は内槽 2 内に冷媒とともに収容され、超電導線材を巻回してなる超電導コイルである。

【0003】 上記のような従来の超電導磁石装置では、超電導コイル 4 の振動を低減し、それに伴う発熱を抑制するために、高剛性な複数の荷重支持体 3 を介して内槽 2 が外槽 1 内に多点で支持されている。

【0004】 また、超電導磁石装置には、冷媒を極低温に保つため、例えば図 21 に示すような冷凍機 5 が接続されている。このような冷却システムにおいては、超電導コイル 2 を冷却し、外部からの熱侵入及び外乱による発熱によって蒸発した冷媒ガス、例えばヘリウムガスは、冷凍機 5 により再冷却・再液化された後、超電導磁石装置に戻され、冷媒液の補給を極力抑えるようにして

いる。

【0005】さらに、磁気浮上列車用の超電導磁石装置のように、ある限られた冷却能力の冷却システム下では、運用中の静的な熱侵入と動的な発熱量との合計を、冷却能力以下とする必要がある。従って、液体ヘリウムのような極低温冷媒により超電導コイル4を冷却している超電導磁石装置において、外部からの熱侵入や構造体自身の発熱は重要な問題である。

【0006】これらのうち、外部からの熱侵入は、極低温の内槽2と常温の外槽1との間の温度勾配により、内槽2を支持している荷重支持体3を介して起こる。一方、構造体の発熱は、動的な外乱を受けた際に装置の振動が原因で磁場変動が起き、構造体に渦電流が発生することによるジュール発熱、或いは振動による変形に伴う摩擦発熱などの機械発熱の原因で生じる。特に、共振周波数の外乱により加振された場合には、例えばねじり振動などの共振現象が内槽2に現れ、振動の増加とともに発熱が大きくなる。

【0007】従来は、個々の内槽2の振動に伴う発熱を抑制するため、内槽2を極力高剛性に支持し、共振周波数を向上させる方策を採っている。しかしながら、より高剛性に支持するに従って、静的熱侵入は増大するので、剛性を上げて支持するには限界があり、運用上の外乱周波数の範囲内に内槽2の共振周波数があるものとなっている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】従来の磁気浮上列車用の超電導磁石装置は、複数の超電導コイル2を有しているが、個々の内槽2の剛性や支持構造は同一のものとなっており、各内槽2の振動の周波数特性も、例えば図22に示すように同一のものとなっている。このような特性を有している場合には、共振周波数の外乱が作用すると、複数の内槽2が同時に共振することになる。この場合、図23に示されるように、超電導磁石装置全体の発熱量（実線）としては個々の内槽の発熱量（破線）の個数倍程度のものとなるため、複数の内槽2が同時に共振する場合の発熱量を考慮して、冷却システムの能力を大きくしておく必要があった。

【0009】この発明は、上記のような問題点を解決することを課題としてなされたものであり、超電導コイルを格納する内槽が複数設けられている場合に、動的な外乱による発熱量を抑えることができ、必要な冷却システムの能力を小さくすることができる超電導磁石装置を得ることを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】請求項1の発明に係る超電導磁石装置は、外槽と、それぞれ外槽内に収容されているとともに冷媒を収容している複数の内槽と、これらの内槽を外槽内にそれぞれ断熱支持している複数の荷重支持体と、内槽内にそれぞれ格納されている超電導コイ

ルとを備え、少なくとも1個の内槽の共振周波数が他の内槽と異なっているものである。

【0011】請求項2の発明に係る超電導磁石装置は、少なくとも1個の内槽を支持する荷重支持体の剛性が、他の内槽を支持する荷重支持体の剛性と異なっているものである。

【0012】請求項3の発明に係る超電導磁石装置は、少なくとも1個の内槽を支持する荷重支持体が、他の内槽を支持する荷重支持体の材料とは縦弾性係数の異なる材料で構成されているものである。

【0013】請求項4の発明に係る超電導磁石装置は、少なくとも1個の内槽を支持する荷重支持体が、他の内槽を支持する荷重支持体の繊維複合材料とは繊維構成の異なる繊維複合材料で構成されているものである。

【0014】請求項5の発明に係る超電導磁石装置は、少なくとも1個の内槽を支持する荷重支持体の外槽への取付部の剛性が、他の内槽を支持する荷重支持体の外槽への取付部の剛性と異なっているものである。

【0015】請求項6の発明に係る超電導磁石装置は、少なくとも1個の内槽を支持する荷重支持体の取付部における外槽の板厚が、他の内槽を支持する荷重支持体の取付部における外槽の板厚と異なっているものである。

【0016】請求項7の発明に係る超電導磁石装置は、各荷重支持体の外槽への取付部に荷重支持体と直列にダンパが設けられているとともに、少なくとも1個の内槽を支持する荷重支持体のダンパのばね定数が、他の内槽を支持する荷重支持体のダンパのばね定数と異なっているものである。

【0017】請求項8の発明に係る超電導磁石装置は、少なくとも1個の内槽を支持する荷重支持体の外槽への取付部の剛性が調整可能になっているものである。

【0018】請求項9の発明に係る超電導磁石装置は、外槽の荷重支持体の取付部に、剛性調整用スペーサが着脱可能に取り付けられおり、この剛性調整用スペーサを選択することにより、取付部の剛性が調整可能になっているものである。

【0019】請求項10の発明に係る超電導磁石装置は、少なくとも1個の内槽を支持する荷重支持体の配置位置が、他の内槽を支持する荷重支持体の配置位置と異なっているものである。

【0020】請求項11の発明に係る超電導磁石装置は、少なくとも1個の内槽の断面剛性が、他の内槽の断面剛性と異なっているものである。

【0021】請求項12の発明に係る超電導磁石装置は、少なくとも1個の内槽の板厚が、他の内槽の板厚と異なっているものである。

【0022】請求項13の発明に係る超電導磁石装置は、内槽内には、超電導コイルを支持するリブがそれぞれ設けられており、少なくとも1個の内槽についてその形状及びリブの形状が、他の内槽と異なっているもので

ある。

【0023】請求項14の発明に係る超電導磁石装置は、少なくとも1個の内槽に格納された超電導コイルの断面剛性が、他の内槽に格納された超電導コイルの断面剛性と異なっているものである。

【0024】請求項15の発明に係る超電導磁石装置は、内槽及び超電導コイルを含み、外槽に対して荷重支持体により支持されている部分の合計質量が、少なくとも1個の内槽について他の内槽と異なっているものである。

【0025】請求項16の発明に係る超電導磁石装置は、内槽に取り付けられる付属部品の取付位置が、少なくとも1個の内槽について他の内槽と異なっているものである。

【0026】請求項17の発明に係る超電導磁石装置は、磁気浮上列車の台車枠に取り付けるための台車枠取付部が、荷重支持体の外槽への取付位置に対応して設けられているとともに、台車枠取付部の配置位置が、少なくとも1個の内槽について他の内槽と異なっているものである。

【0027】

【発明の実施の形態】以下、この発明の実施の形態を図

$$f = \lambda^2 / (2\pi L c^2) \cdot \sqrt{(E c I c / A c \rho)} \cdots (3)$$

但し、 λ ：振動モードにより定まる無次元の定数、 L ： c ：弾性体の長さ(m)、 $E c$ ：弾性体の等価縦弾性係数(N/m²)、 $I c$ ：弾性体の等価断面2次モーメント(m⁴)、 $E c I c$ ：弾性体の断面剛性、 $A c$ ：弾性体の等価断面面積(m²)、 ρ ：弾性体の質量密度(kg/m³)である。

【0030】これらの式から、支持剛性 K_s 、弾性体の剛性 $E c I c$ 、又は弾性体の質量 ρ 等を変えることにより、共振周波数を変化させることができることがわかる。従って、複数の内槽2を格納する超電導磁石装置においては、上記の手段により複数の内槽2のそれぞれの共振周波数を異なるものとすれば、ある周波数外力が作用した場合に、それぞれが同時に(同一周波数で)共振することはない。

【0031】この実施の形態1では、荷重支持体3A、3Bの剛性を互いに異なるものとした、即ち内槽2A、2Bの支持剛性 K_s を異なるものとしたので、図2に示すように、内槽2A、2Bの共振周波数も互いに異なるものとなる。従って、図3に示すように、内槽2Aと内槽2Bの発熱ピークを迎える周波数が異なるものとなり、超電導磁石装置の総発熱量としては、従来に比べて小さく抑えられる。このため、発熱により蒸発した冷媒を冷却する冷却システムの冷却能力も、従来に比べて小さくすることができる。

【0032】なお、このような構成は、3つ以上の内槽を有する超電導磁石装置においても有効であり、少なくとも1個の内槽をその他の内槽と異なる剛性の荷重支持

について説明する。

実施の形態1. 図1はこの発明の実施の形態1による磁気浮上列車用の超電導磁石装置を示す切欠斜視図である。図において、1は内部に断熱用の真空空間を形成する外槽、2A、2Bは外槽1内に互いに間隔をおいて収容され、液体ヘリウム等の冷媒の容器となる内槽、3A、3Bはそれぞれ内槽2A、2Bを外槽1内に断熱支持する荷重支持体である。また、各内槽2A、2B内には、図19と同様に、それぞれ超電導コイル4が収容されている。さらに、荷重支持体3Aと荷重支持体3Bとは、互いに剛性の異なるものが用いられている。

【0028】ここで、質量がある支持系により支持されている一次振動系の共振周波数(固有振動数)は、一般に次式のように表される。

$$f = 1 / (2\pi) \cdot \sqrt{(K_s / m_c)} \cdots (1)$$

$$K_s = A_s E_s / L_s \cdots (2)$$

但し、 f ：固有振動数(Hz)、 K_s ：支持剛性(N/mm)、 m_c ：振動系の等価質量(kg)、 A_s ：支持材の断面積(m²)、 E_s ：支持材材料の縦弾性係数(N/m²)、 L_s ：支持材の長さ(m)である。

【0029】また、梁等の弾性体の変形振動する場合の共振周波数(固有振動数)は、次式のように表される。

体で支持すればよい。また、1個の内槽を数種の荷重支持体で支持している場合にも、それぞれの種類の荷重支持体の剛性を、各内槽について異なるものとすれば、同様の効果を得ることができる。

【0033】実施の形態2. 次に、この発明の実施の形態2について説明する。上記実施の形態1において、剛性の異なる荷重支持体3A、3Bを得るには、上式

(2)によれば、支持体材料の縦弾性係数 E_s 、支持体の断面積 A_s を大きくするか、支持材の長さ L_s を短くすればよい。

【0034】ここで、荷重支持体3A、3Bからの静的な熱侵入量は、次式で表される。

$$Q = \lambda \cdot A_s / (L_s) \cdot \Delta T \cdots (4)$$

但し、 Q ：熱侵入量(W)、 λ ：平均熱伝導率(W/mk)、 ΔT ：支持体両端の温度差(k)である。

【0035】従って、熱侵入量を高くせず、荷重支持体3A、3Bの剛性を高くするには、荷重支持体の断面積 A_s を大きくする方法や、支持体の長さ L_s を短くする方法ではなく、縦弾性係数 E_s が高く平均熱伝導率 λ がほぼ同等の支持体材料を選択する方法がよい。例えば、アルミナ繊維強化プラスチック(AlFRP)やガラス繊維強化プラスチック(GFRP)は、絶対温度4K~80Kでの平均熱伝導率が0.2~0.3(W/mk)であるが、縦弾性係数がそれぞれ、AlFRP：約80GPa、GFRP：約40GPaと異なるため、これらの材料で構成された荷重支持体3A、3Bにより、それぞれ別の内槽を支持すればよい。

【0036】実施の形態3. また、荷重支持体3A、3Bを繊維強化プラスチック等の繊維複合材料で構成する場合には、例えば図4に示すように、荷重支持体3A、3Bの繊維構成を変化させることにより、荷重支持体3A、3Bの剛性を異なるものとすることができ、上記実施の形態1で述べた効果を得ることができる。

【0037】実施の形態4. 次に、この発明の実施の形態4について説明する。上記の例では、荷重支持体3A、3B全体としての剛性を異なるものとしたが、荷重支持体3A、3Bの外槽1への取付部のみについて剛性を変化させても、内槽2A、2Bの共振周波数を異なるものとすることができる。

【0038】ここで、内槽2A、2Bの支持剛性は、外槽1への取付部の剛性を考慮すると次式で表される。

$$K_c = (K_s \cdot K_g) / (K_s + K_g) \cdots (5)$$

但し、 K_c ：内槽の支持剛性、 K_s ：荷重支持体の剛性、 K_g ：荷重支持体の外槽取付部の剛性である。

【0039】上式(5)から、荷重支持体3A、3Bの外槽1への取付部の剛性を異なるものとするにより、内槽2A、2Bの支持剛性を異なるものとすることができることがわかる。従って、荷重支持体3A、3Bの外槽1への取付部の剛性を異なるものとするにより、内槽2A、2Bの共振周波数を異なるものとすることができ、実施の形態1と同様の効果を得ることができる。

【0040】実施の形態5. 図5はこの発明の実施の形態5による超電導磁石装置の要部を示す構成図である。この例では、内槽2A、2Bは、共通の荷重支持体3により外槽1に断熱支持されている。しかし、荷重支持体3の取付部の外槽1の板厚が、内槽2A、2Bのそれぞれで異なっている。即ち、内槽2Aを支持する荷重支持体3の取付部の板厚 t_1 が、内槽2Bを支持する荷重支持体3の取付部の板厚 t_2 よりも厚くなっている($t_1 > t_2$)。

【0041】図5において、荷重支持体3の外槽1への取付部の剛性は、外槽1を構成する板材の曲げ剛性で表されるが、外槽1の板材の曲げ剛性は、その板厚の3乗に反比例する。従って、上記のように板厚を異なるものとするにより、荷重支持体3の外槽1への取付部の剛性を異なるものにでき、実施の形態4で述べた効果を容易に得ることができる。

【0042】実施の形態6. 次に、図6はこの発明の実施の形態6による超電導磁石装置の要部を示す構成図である。図において、内槽2A、2Bを支持する荷重支持体3は、例えばゴム等の材料で構成されたダンパ7A、7Bを介して外槽1に取り付けられている。即ち、荷重支持体3の外槽1への取付部に、荷重支持体3と直列にダンパ7A、7Bを入れた構成としている。また、これらのダンパ7A、7Bは、それぞればね定数が互いに異なる材料により構成されている。

【0043】この例では、荷重支持体3の外槽1への取付部の剛性が、外槽1の板材の曲げ剛性とダンパ7A、7Bのばね定数とを直列合成したものとなる。従って、それぞれの内槽2A、2B用のダンパ7A、7Bのばね定数を異なるものとするにより、荷重支持体3の外槽1への取付部の剛性を異なるものにでき、実施の形態4で述べた効果を得られる。さらに、ダンパ7A、7Bの防振効果により、内槽2A、2Bの振動量を抑制することも可能となる。

【0044】実施の形態7. 次に、図7はこの発明の実施の形態7による超電導磁石装置の要部を示す構成図である。図において、外槽1の荷重支持体3の取付部には、取付部の剛性を調整するための剛性調整装置8が設けられている。この剛性調整装置8は、超電導磁石装置の内部或いは外部から各内槽2A、2B毎に荷重支持体3の外槽1への取付部の剛性を調整できるように構成されている。具体的な構成の一例は、実施の形態8に示す。

【0045】このような剛性調整装置8を設けることにより、振動、発熱量等の性能を検証しながら、荷重支持体3の外槽1への取付部の剛性を個々に調整することができ、運用に最適な超電導磁石装置を得ることができる。

【0046】実施の形態8. 図8はこの発明の実施の形態8による超電導磁石装置の要部を示す構成図であり、上記の剛性調整装置の一例を示すものでもある。図において、外槽1の荷重支持体3の取付部には、取付部の剛性を調整するための剛性調整用スペーサ9A、9Bが取付ボルト10により取り付けられている。また、内槽2Aを支持する荷重支持体3に対応する剛性調整用スペーサ9Aと、内槽2Bを支持する荷重支持体3に対応する剛性調整用スペーサ9Bとは、それぞれ厚さが異なっている。さらに、外槽1の剛性調整用スペーサ9A、9Bの取付部は、削り込まれて凹部が形成されている。

【0047】このように、異なる板厚の剛性調整用スペーサ9A、9Bを取り付けることにより、内槽2A、2Bの荷重支持体3の外槽1への取付部剛性が異なるものとなるため、上記実施の形態4で述べた効果を得ることができる。また、剛性調整用スペーサ9A、9Bは、外槽1の外部から任意に交換可能であるため、実施の形態7で述べた効果も得ることができる。

【0048】実施の形態9. 次に、図9はこの発明の実施の形態9による超電導磁石装置を示す切欠斜視図である。図において、内槽2A、2Bは、それぞれ同様に構成された8本の荷重支持体3で外槽1内に断熱支持されている。また、内槽2A、2Bの両端部に位置する荷重支持体3は、両者で異なる配置となっている。即ち、内槽2Aの両端部の荷重支持体3は、内槽2Aのレーストラック外側に配置され、内槽2Bの両端部の荷重支持体3は、内槽2Bのレーストラック内側に配置されてい

る。

【0049】ここで、内槽2A、2Bのヨーイング振動やねじり振動の共振周波数は、その振動モードを抑制する両端部の荷重支持体3の位置に依存する。図9の例では、内槽2Aの両端部の荷重支持体3は、内槽2Bの両端部の荷重支持体3よりも外側に位置しており、内槽2Aの方がヨーイング振動或いはねじり振動を起こしにくい構成となっている。即ち、内槽2Aのヨーイング振動或いはねじり振動に対する支持剛性の方が高く、その振動の共振周波数が高いものとなる。

【0050】このように、内槽2A、2B毎に荷重支持体3の配置を異なるものとするにより、各内槽2A、2Bの共振周波数を異なるものとしてでき、実施の形態1と同様の効果を得ることができる。

【0051】実施の形態10。図10はこの発明の実施の形態10による超電導磁石装置を示す切欠斜視図である。この例では、内槽11A、11Bの断面11a、11bの構造を互いに異なるものとするにより、上式(3)における内槽11A、11Bの断面剛性 $E c I c$ をそれぞれ異なるものとしている。

【0052】このようにして構成すれば、上式(3)で表されるような内槽11A、11Bの共振周波数は、互いに異なるものとなる。従って、内槽11A、11Bの発熱ピークを迎える周波数が異なるものとなり、超電導磁石装置の総発熱量が小さく抑制され、実施の形態1と同様の効果を得ることができる。

【0053】実施の形態11。図11はこの発明の実施の形態11による超電導磁石装置の内槽における2種の断面構造を比較して示す説明図である。図において、内槽12A、12B内には、共通のリブ13を介してそれぞれ超電導コイル4が支持されている。また、内槽12Aを構成する板材の板厚 t_1 は内槽12Bを構成する板材の板厚 t_2 に比べて大きくなっている($t_1 > t_2$)。

【0054】ここで、内槽12Aの質量の増加分よりも断面2次モーメントの増加分の方が大きくなるように、内槽12Aの板厚 t_1 を内槽12Bの板厚 t_2 よりも厚くした場合、上式(3)に示されるように内槽12Aの共振周波数は、内槽12Bの共振周波数よりも大きくなる。従って、内槽12A、12Bの板厚を互いに異なるものとするにより、実施の形態10と同様の効果が得られる。また、内槽12A、12Bの断面形状は、楕円形に限らず円形又は矩形等でもよい。

【0055】実施の形態12。図12はこの発明の実施の形態12による超電導磁石装置の内槽における2種の断面構造を比較して示す説明図である。この例では、内槽14A内のリブ15Aの幅が、内槽14B内のリブ15Bの幅より広くなっており、各内槽14A、14Bがリブ15A、15Bに沿う形状に構成されている。これにより、内槽14Aの幅寸法 W_1 は、内槽14Bの幅寸法 W_2 よりもリブ寸法の広い分だけ広がっている。

【0056】このように構成した場合、内槽14Aの左右の断面2次モーメントは、内槽14Bのそれに比べて大きくなり、上式(3)に示されるように内槽14Aの共振周波数は内槽14Bよりも大きくなり、実施の形態10と同様の効果が得られる。また、断面2次モーメントがさらに異なるように、リブ寸法とともに内槽板厚を同時に異なるものとしてもよい。

【0057】実施の形態13。図13はこの発明の実施の形態13による超電導磁石装置の内槽における2種の断面構造を比較して示す説明図である。この例では、内槽2A内の超電導コイル4Aの高さよりも、内槽2B内の超電導コイル4Bの高さを高いものとなっている。また、リブ16A、16Bは、断面の異なる超電導コイル4A、4Bを内槽2A、2B内に支持できる形状となっている。

【0058】ここで、図13に示された部分(以下、内槽組立体と称する)の断面全体としての実質的な断面剛性 $E c I c$ は、超電導コイル4A、4Bの断面剛性 $E c_1 I c_1$ と内槽2A、2Bの断面剛性 $E c_2 I c_2$ との和で表される。この例では、超電導コイル4Bの高さを超電導コイル4Aよりも高くしたことにより、超電導コイル4Bの断面2次モーメントが超電導コイル4Aよりも大きいものとなっている。従って、内槽組立体の断面剛性も内槽2B側の方が大きいものとなり、上式(3)に示されるように内槽2Bの共振周波数は内槽2Aに比して大きくなる。このように、超電導コイル4A、4Bの断面寸法を各内槽2A、2Bについて異なるものとするにより、実施の形態10と同様の効果を得ることができる。

【0059】また、図14に示すように、超電導コイル4A、4Bの断面寸法を異なるものとした上に、内槽17A、17Bの断面2次モーメントも異なるものとしてもよく、図14に示された内槽組立体全体の断面剛性を大きく変えることができる。この場合、内槽17A、17Bの形状に沿ったリブ18A、18Bを用いるのは勿論である。

【0060】実施の形態14。図15はこの発明の実施の形態14による超電導磁石装置の内槽における2種の断面構造を比較して示す説明図である。この例における内槽19A、19Bは、内槽本体20A、20Bと、これら内槽本体20A、20Bの外周面上にそれぞれコーティングされた例えばCu等のコーティング材21A、21Bとにより構成されている。上記の内槽本体20A、20Bは同様の構成であるが、コーティング材21A、21Bは、厚さ t_1 、 t_2 が互いに異なっている($t_2 > t_1$)。また、コーティング材21A、21Bは、内槽19A、19Bの断面剛性が大きく変化しない範囲の厚さで設けられ、内槽19A、19Bの質量が変化することに寄与している。

【0061】上記のような超電導磁石装置では、コーテ

イング材21A, 21Bの厚さの違いにより、内槽19Bの方が内槽19Aに比べて重いものとなっている。このように構成した場合、上式(1)に示されるように内槽19Aの共振周波数は内槽19Bに比して大きくなる。従って、各内槽19A, 19B全体の質量を異なるものとするにより、それぞれの共振周波数が異なるものとなり、実施の形態10と同様の効果が得られる。

【0062】実施の形態15. 図16はこの発明の実施の形態15による超電導磁石装置を示す切欠斜視図である。図において、内槽2Aの中央部には、例えば永久電流スイッチ等の付属部品22Aが固定されている。また、内槽2Bの端部には、付属部品22Bが固定されている。従って、内槽2Bにおいては、その端部に付属部品22Bの質量が集中しており、ヨーイング振動に対する等価的な質量が、内槽2Aに比べて大きいものとなる。

【0063】このように構成した場合、上式(1)に示されるように内槽2Bのヨーイング振動の共振周波数は内槽2Aに比して小さくなり、ヨーイング振動が発熱に寄与している構造の場合には、実施の形態10と同様に総発熱量が抑制される効果がある。また、その他の振動モードが発熱に寄与している場合に対しても、各内槽2A, 2Bの共振周波数が一致しないように振動モードに合わせて付属部品の設置位置を選択することにより、同様の効果が得られる。

【0064】実施の形態16. 図17はこの発明の実施の形態16による超電導磁石装置を有する磁気浮上列車を示す構成図、図18は図17の超電導磁石装置を示す斜視図である。図において、超電導磁石装置の外槽1は、複数の台車枠取付部23を介してボルト締め等により台車枠24に取り付けられている。図18に示すように、台車枠取付部23は、荷重支持体3の外槽1への取付部に対応して設けられているが、内槽2Aと内槽2Bとでは、台車枠取付部23の配置位置が互いに異なっている。即ち、内槽2Aでは、外側の荷重支持体3に対応して台車枠取付部23が設けられ、内槽2Bでは、内側の荷重支持体3に対応して台車枠取付部23が設けられている。

【0065】ここで、内槽2A, 2B及び超電導磁石装置の支持剛性は、台車枠24への取付剛性にも依存しており、ある剛性を有する台車枠24への支持箇所を選択によっては内槽2A, 2B及び外槽1の支持剛性も変化する。例えば、図18のような台車枠取付部23の配置とすることにより、ねじり振動に対する支持剛性は、内槽2Bよりも内槽2Aの方が高くなる。このように、台車枠取付部23の位置を異なるものとするにより、内槽2A, 2Bの支持剛性を異なるものとすることができ、内槽2A, 2Bの共振周波数を異なるものとすることができ、実施の形態1と同様の効果を得ることができる。

【0066】なお、上記の各実施の形態では、主として2個の内槽が搭載された超電導磁石装置の構成について述べたが、この発明は3個以上の超電導コイル及び内槽を搭載する超電導磁石装置にも適用できる。また、上記の各実施の形態を適宜組み合わせることも可能である。

【0067】

【発明の効果】以上説明したように、請求項1の発明の超電導磁石装置は、少なくとも1個の内槽の共振周波数を他の内槽と異なるものとしたので、複数の内槽を格納する場合に、各内槽の共振に伴う発熱が分散されることにより、装置全体としては発熱量を抑えることができ、必要な冷却システムの能力を小さくすることができるという効果がある。

【0068】請求項2の発明の超電導磁石装置は、少なくとも1個の内槽を支持する荷重支持体の剛性を、他の内槽を支持する荷重支持体の剛性と異なるものとしたので、内槽そのものの構成を変えることなく、内槽の共振による発熱を分散することができる。

【0069】請求項3の発明の超電導磁石装置は、少なくとも1個の内槽を支持する荷重支持体を、他の内槽を支持する荷重支持体の材料とは縦弾性係数の異なる材料で構成したので、取付構造を変えることなく、荷重支持体の剛性を変えることができる。

【0070】請求項4の発明の超電導磁石装置は、少なくとも1個の内槽を支持する荷重支持体を、他の内槽を支持する荷重支持体の繊維複合材料とは繊維構成の異なる繊維複合材料で構成したので、取付構造を変えることなく、荷重支持体の剛性を変えることができる。

【0071】請求項5の発明の超電導磁石装置は、少なくとも1個の内槽を支持する荷重支持体の外槽への取付部の剛性を、他の内槽を支持する荷重支持体の外槽への取付部の剛性と異なるものとしたので、内槽や荷重支持体を変えることなく、荷重支持体の外槽への取付部のみにより、内槽の共振による発熱を分散することができる。

【0072】請求項6の発明の超電導磁石装置は、少なくとも1個の内槽を支持する荷重支持体の取付部における外槽の板厚を、他の内槽を支持する荷重支持体の取付部における外槽の板厚と異なるものとしたので、外槽の板厚を変えるだけで、他の部品は変えることなく、内槽の共振による発熱を分散することができる。

【0073】請求項7の発明の超電導磁石装置は、各荷重支持体の外槽への取付部に荷重支持体と直列にダンパを設け、少なくとも1個の内槽を支持する荷重支持体のダンパのばね定数を、他の内槽を支持する荷重支持体のダンパのばね定数と異なるものとしたので、内槽の共振による発熱を分散できるとともに、ダンパの防振効果により、内槽の振動量を抑制することも可能となる。

【0074】請求項8の発明の超電導磁石装置は、少なくとも1個の内槽を支持する荷重支持体の外槽への取付部の剛性を調整可能としたので、振動、発熱量等の性能を検証しながら、荷重支持体の外槽への取付部の剛性を個々に調整することができ、運用に最適な状態にすることができる。

【0075】請求項9の発明の超電導磁石装置は、外槽の荷重支持体の取付部に、剛性調整用スペーサを着脱可能に取り付け、この剛性調整用スペーサを選択することにより取付部の剛性を調整可能としたので、簡単な構成で、荷重支持体の外槽への取付部の剛性を個々に調整することができる。

【0076】請求項10の発明の超電導磁石装置は、少なくとも1個の内槽を支持する荷重支持体の配置位置を、他の内槽を支持する荷重支持体の配置位置と異なるものとしたので、共通の部品を使用しつつ、内槽の共振による発熱を分散することができる。

【0077】請求項11の発明の超電導磁石装置は、少なくとも1個の内槽の断面剛性を、他の内槽の断面剛性と異なるものとしたので、内槽の共振周波数をより確実に直接的に変えることができ、内槽の共振による発熱を分散することができる。

【0078】請求項12の発明の超電導磁石装置は、少なくとも1個の内槽の板厚を、他の内槽の板厚と異なるものとしたので、簡単な構成により内槽の断面剛性を変えることができる。

【0079】請求項13の発明の超電導磁石装置は、内槽内に、少なくとも1個の内槽について、その形状、及び超電導コイルを支持するリブの形状を、他の内槽と異なるものとしたので、内槽の断面剛性を大きく変えることができる。

【0080】請求項14の発明の超電導磁石装置は、少なくとも1個の内槽に格納された超電導コイルの断面剛性を、他の内槽に格納された超電導コイルの断面剛性と異なるものとしたので、簡単な構成により内槽の断面剛性を変えることができる。

【0081】請求項15の発明の超電導磁石装置は、内槽及び超電導コイルを含み、外槽に対して荷重支持体により支持されている部分の合計質量を、少なくとも1個の内槽について他の内槽と異なるものとしたので、内槽の断面剛性を変えることなく、内槽の共振による発熱を分散することができる。

【0082】請求項16の発明の超電導磁石装置は、内槽に取り付けられる付属部品の取付位置を、少なくとも1個の内槽について他の内槽と異なるものとしたので、本体部品は共通のまま、付属部品の配置の変更のみで、内槽の共振周波数を変えることができ、内槽の共振による発熱を分散することができる。

【0083】請求項17の発明の超電導磁石装置は、磁気浮上列車の台車枠に取り付けるための台車枠取付部

を、荷重支持体の外槽への取付位置に対応して設けるとともに、台車枠取付部の配置位置を、少なくとも1個の内槽について他の内槽と異なるものとしたので、外槽内の構成を変えることなく、内槽の共振周波数を変えることができ、内槽の共振による発熱を分散することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の実施の形態1による磁気浮上列車用の超電導磁石装置を示す切欠斜視図である。

【図2】 図1の内槽の振動の周波数特性を示す関係図である。

【図3】 図2のような周波数特性の複数の内槽における振動周波数と発熱量との関係を示す関係図である。

【図4】 この発明の実施の形態3による荷重支持体の繊維構成の違いの一例を示す説明図である。

【図5】 この発明の実施の形態5による超電導磁石装置の要部を示す構成図である。

【図6】 この発明の実施の形態6による超電導磁石装置の要部を示す構成図である。

【図7】 この発明の実施の形態7による超電導磁石装置の要部を示す構成図である。

【図8】 この発明の実施の形態8による超電導磁石装置の要部を示す構成図である。

【図9】 この発明の実施の形態9による超電導磁石装置を示す切欠斜視図である。

【図10】 この発明の実施の形態10による超電導磁石装置を示す切欠斜視図である。

【図11】 この発明の実施の形態11による超電導磁石装置の内槽における2種の断面構造を比較して示す説明図である。

【図12】 この発明の実施の形態12による超電導磁石装置の内槽における2種の断面構造を比較して示す説明図である。

【図13】 この発明の実施の形態13による超電導磁石装置の内槽における2種の断面構造を比較して示す説明図である。

【図14】 この発明の実施の形態13の他の例による超電導磁石装置の内槽における2種の断面構造を比較して示す説明図である。

【図15】 この発明の実施の形態14による超電導磁石装置の内槽における2種の断面構造を比較して示す説明図である。

【図16】 この発明の実施の形態15による超電導磁石装置を示す切欠斜視図である。

【図17】 この発明の実施の形態16による超電導磁石装置を有する磁気浮上列車を示す構成図である。

【図18】 図17の超電導磁石装置を示す斜視図である。

【図19】 従来の磁気浮上列車用の超電導磁石装置の一例を示す構成図である。

【図20】 図19の切欠斜視図である。

【図21】 従来の超電導磁石装置の冷凍システムの一例を示す概略の構成図である。

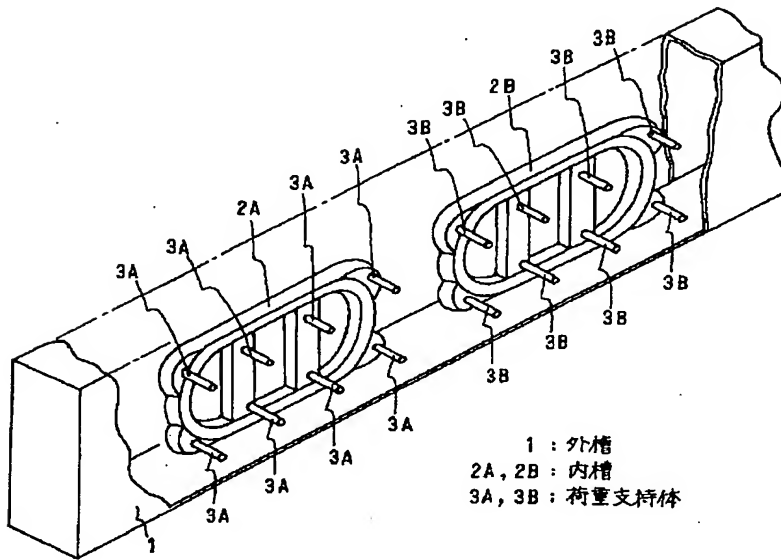
【図22】 従来の超電導磁石装置の内槽の振動の周波数特性の一例を示す関係図である。

【図23】 図22のような周波数特性の複数の内槽における振動周波数と発熱量との関係を示す関係図である。

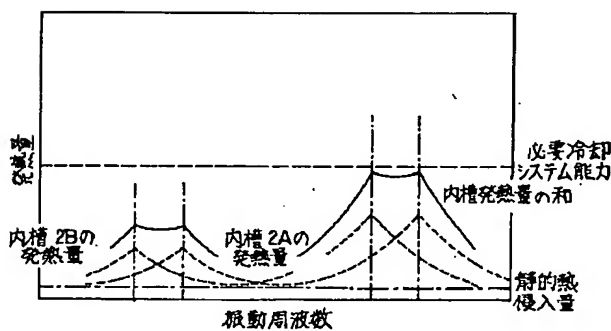
【符号の説明】

1 外槽、2A、2B、11A、11B、12A、12B、14A、14B、17A、17B、19A、19B 内槽、3、3A、3B 荷重支持体、4、4A、4B 超電導コイル、7A、7B ダンパ、9A、9B 剛性調整用スペーサ、13、15A、15B、16A、16B、18A、18B リブ、22A、22B 付属部品、23 台車枠取付部、24 台車枠。

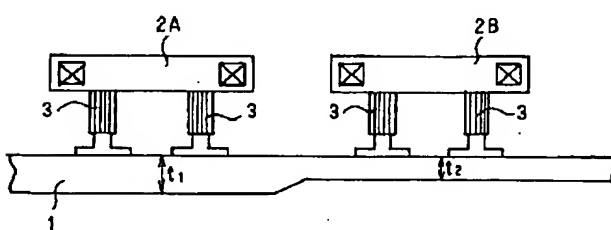
【図1】



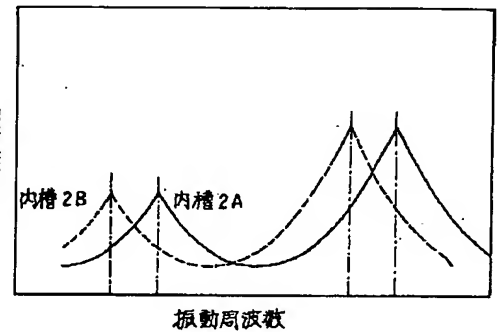
【図3】



【図5】

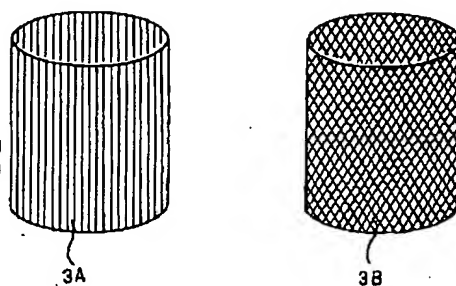


【図2】

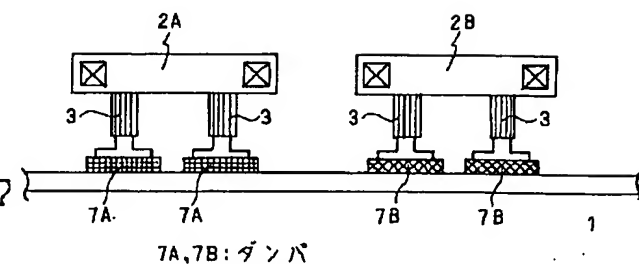


【図20】

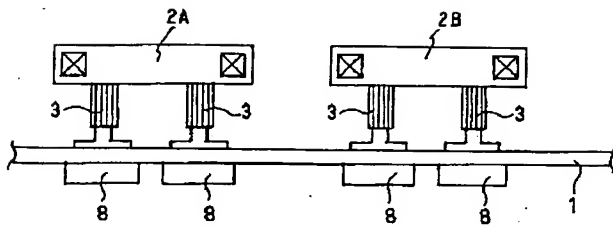
【図4】



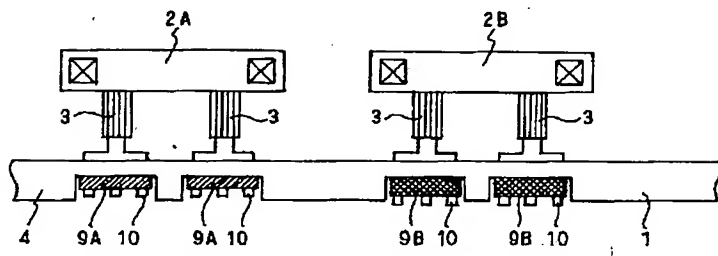
【図6】



【図7】

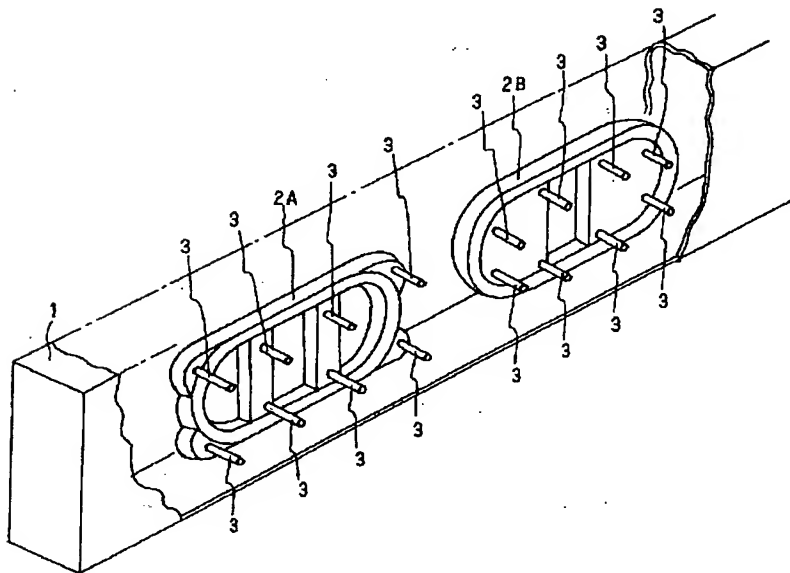


【図8】

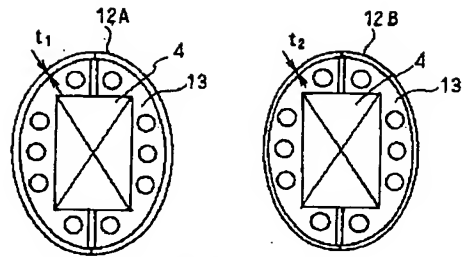


9A, 9B: 剛性調整用スペーサ

【図9】

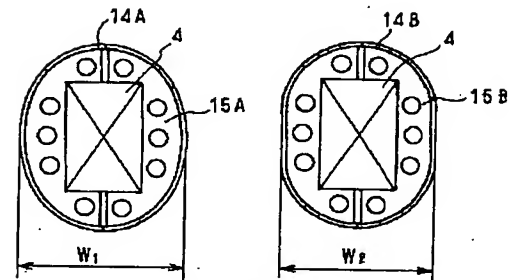


【図11】



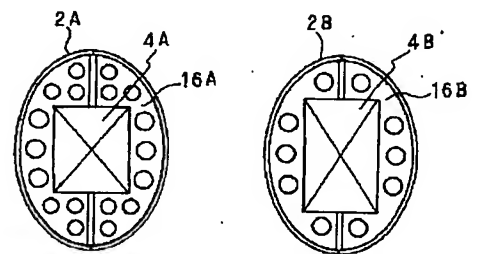
4: 超電動コイル
 12A, 12B: 内槽
 13: リブ

【図12】



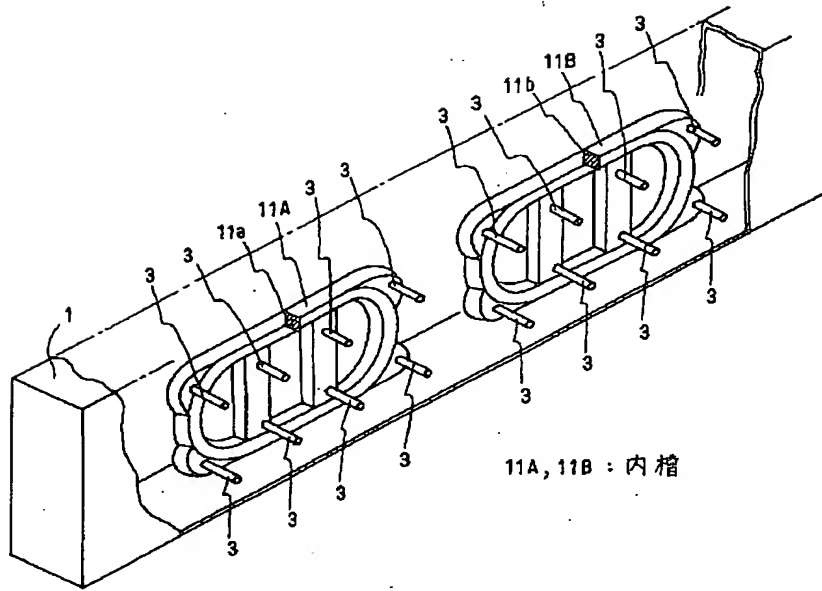
14A, 14B: 内槽
 15A, 15B: リブ

【図13】

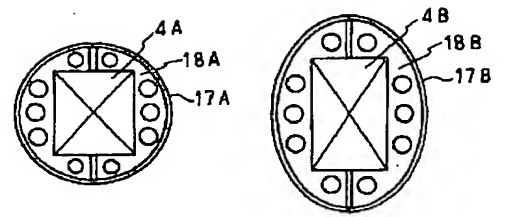


4A, 4B: 超電導コイル
 16A, 16B: リブ

【図10】

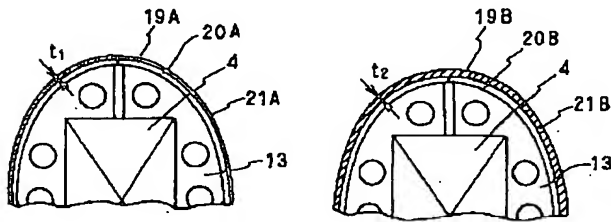


【図14】



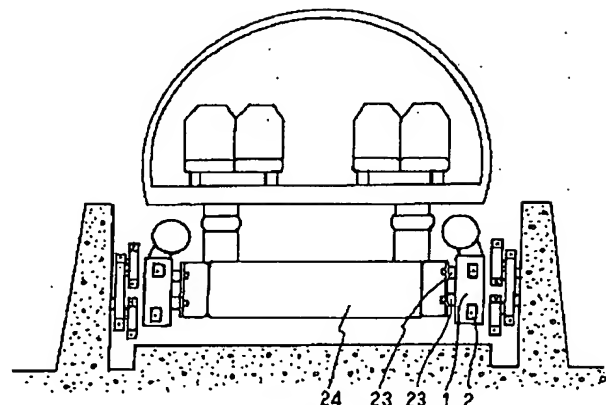
17A, 17B : 内棺
18A, 18B : リブ

【図15】



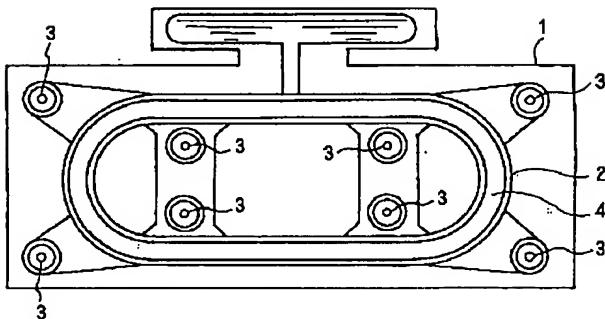
19A 19B : 内棺

【図17】

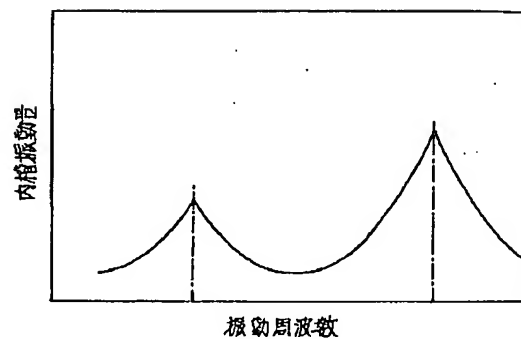


23 : 台車棒取付部
24 : 台車枠

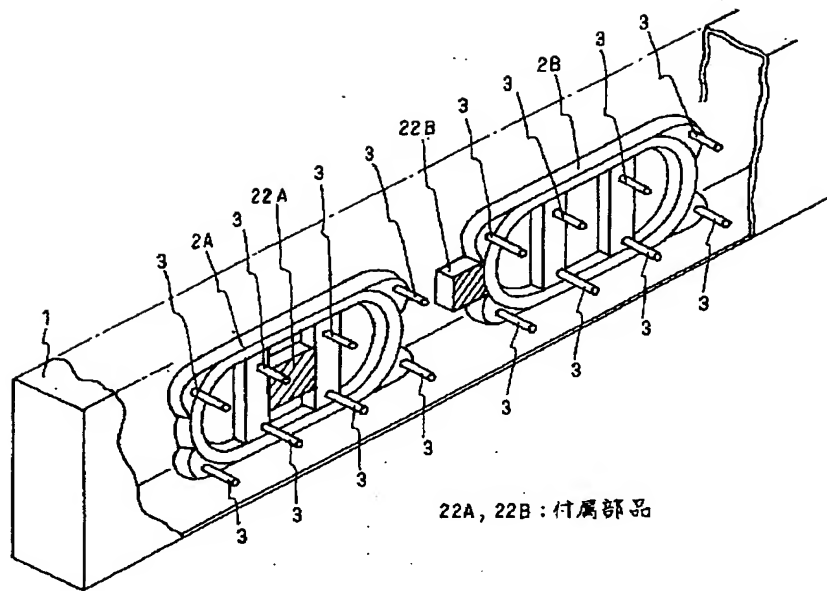
【図19】



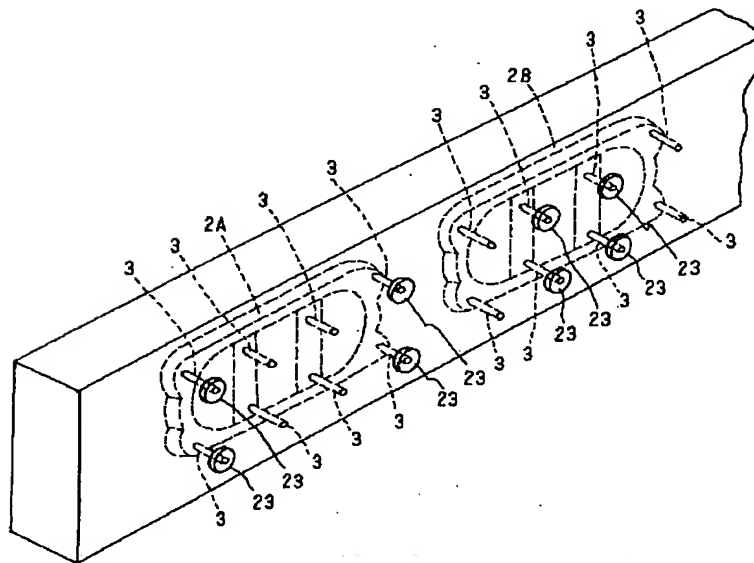
【図22】



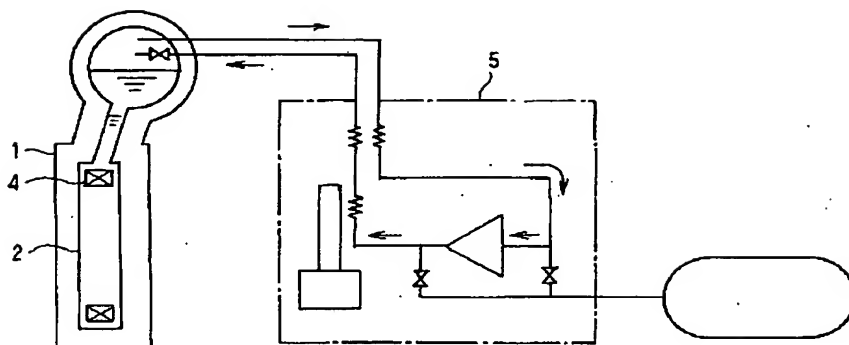
【図16】



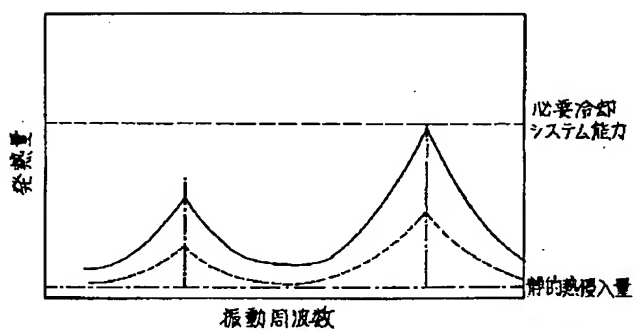
【図18】



【図 21】



【図 23】



フロントページの続き

(72) 発明者 阪谷 逸男
東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 3 号 三
菱電機株式会社内

(72) 発明者 狩野 誠治
東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 3 号 三
菱電機株式会社内

THIS PAGE BLANK (USPTO)